

学 位 論 文 題 名

Studies on the Mesoscale and Microscale Features
of Heavy Rainfall Events during the Late Period
of the Baiu Season

(梅雨末期の豪雨のメソスケールとマイクロスケールの特徴に関する研究)

学位論文内容の要旨

要 旨

梅雨末期には頻繁に豪雨が発生し、しばしば災害をもたらしてきた。これまでも数多くの研究がこのような豪雨の発生のメカニズムを解明するために注がれてきた。本論文では1988年7月に行われた梅雨末期集中豪雨の特別観測のデータをもとに、これまでなされていなかった豪雨現象のメソスケールとマイクロスケールの特徴をドップラーレーダーや時間・空間的に密なサウンディングデータ(～100km, 3～6時間)を用いて運動学的に明らかにした。

観測は、おもに長崎県西海町に設置した北大理学部 of のドップラーレーダーを用いて下層の風と降水エコーの発達過程の關係に注目して行った。風の場合の解析には2台のドップラーレーダーを用いた解析、新たに開発した1台のドップラーレーダーによる風の場合の推定法、等を用いた。また、反射強度の3次元データを用いて降雨量の推定とエコーの3次元構造を調べた。さらにエコーの発生する環境を知る目的でサウンディングのデータを用いて収支解析、及び大気の安定度の解析を行った。

解析した事例は、おもに1988年7月17、18日に観測した梅雨前線に伴う降水イベント、3例(Case 1, Case 2, Case 3)である。さらに梅雨期の滋賀県信楽町、熱帯のパプアニューギニア、マヌス島、及び、夏季の北海道札幌市でのドップラーレーダー観測の事例解析を行い梅雨末期の降水現象との比較を行った。

3つのケーススタディについてメソスケールの特徴を簡単にまとめると、Case 1とCase 2はクラウドクラスターに伴う降水イベントであり、Case 3はクラウドクラスターを伴わないものであった。降水はメソスケール現象として現れ、降水量はCase 1,

Case 2とともに局所的に100 mmを超した（例えば、諫早で3時間にそれぞれ165 mm, 104 mm）のに対してCase 3ではそれほど大雨は記録されなかった（最も多い佐世保で3時間に27mm）。これらの違いはメソスケールの収支解析でも水蒸気の収束量の違い等で現われた。

ドップラーレーダーの観測からそれぞれのケースをまとめると、Case 1では大雨をもたらすエコーの組織化の原因としては、発達したエコーから発生したガストフロントによる梅雨前線帯の収束の強化、及び梅雨前線上に発達したレインバンドと南西海上で発生した孤立したエコーとの合流によるエコーの発達の効果であった。その結果としてレインバンドは大きく発達し、さらにそのレインバンドが特定の場所に次々に通過して大雨をもたらした。

Case 2では、Case 1で大雨がもたらされた領域とほぼ同じ所に、弧状に組織化したエコーによって大雨がもたらされた。エコーの弧状に組織化するプロセスにはやはりガストフロントが重要な役割を果たしていた。さらに、エコーの組織化の直前に暖かく湿った南西風の流入があり、これもエコーの発達に大きく貢献していた。

Case 3は、細いレインバンドとして現れ、このエコーの循環系は環境の風系を反映した構造を持っていた。また、このケースでもエコーの合流が観測された。

これらの事例解析から明らかになったメソスケールとマイクロスケールの特徴は、①ガストフロントによる梅雨前線帯の収束の強化、②エコー同士の合流によるエコーの発達、③メソスケールの場合での気温、降水量のコントラストであった。さらに④として、地形、山岳の効果も挙げられた。地形、山岳の効果に関しては7月14、15日に観測された孤立したエコーの解析から、山岳域での強制対流の効果、及び山岳を迂回する気流による下層風系を変える効果として現われた。

梅雨期のガストフロントの特徴は、ガストフロントがエコーに離れずに存在していたこと、及び、ガストフロントの発生のメカニズムはエコーが大きく発達して最大に達した後のエコーの崩壊によることなどである。このような特徴は一般によく知られているアメリカ合衆国中西部でのシビーストームで見られるガストフロントの特徴とは異なるものである。さらに、梅雨期と似た環境である熱帯のパプアニューギニア、マヌス島で観測したガストフロントの発生メカニズムとも異なっていた。このことは、ガストフロントの発生、さらにはエコーの形成のメカニズムが大気の成層や風の鉛直

シアー等の環境に敏感に反映することを意味する。

また、合流の効果は、エコー内の降雨量の15～35%の増加として現れ、梅雨末期の特徴の停滞前線である梅雨前線による弱い収束域の形成と梅雨前線の南での対流不安定な領域の存在というメソスケールの場合がエコーの合流の起こりやすい状況を作っていたことが明らかになった。このことは、他の地域でのケーススタディには見られなかったことであり梅雨末期に特有の現象であることが分かった。

これらのケーススタディを、メソスケールとマイクロスケール（雲スケール）の間での相互作用という観点でまとめると、雲スケールのインパクトであるガストフロントの集合がメソスケールの収束を強化し、そこにメソスケールの場合でエコーの合流が起こり、局所的に大雨がもたらされ、メソスケールのコントラストを作り出した。さらに、このような場においては、下層の暖湿気移流が容易に起こり、再び大雨が同じ領域にもたらされる。このように局所的大雨をもたらす例ではクラウドクラスターが介在していた。一方、クラウドクラスターに依らないレインバンドはメソスケールの場を反映した構造を持つが雲からメソスケールへのインパクトは現われなかった。また、山岳は、エコーをその斜面で発達させてせき止め、さらに下層風系を特定の方向に支配することによりエコーが特定の場所を通過させる役割を果たし、このことが降水の集中化に働いたと考えられる。

このように、梅雨末期の状況下でメソスケールとマイクロスケールの現象の密接な結びつきにより局所的な（メソスケールの）降雨の発生が明らかになった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 菊 地 勝 弘

副 査 教 授 播磨屋 敏 生

副 査 助教授 上 田 博

学 位 論 文 題 名

Studies on the Mesoscale and Microscale Features of Heavy Rainfall Events during the Late Period of the Baiu Season

(梅雨末期の豪雨のメソスケールとマイクロスケールの特徴に関する研究)

北日本及び東日本を除く日本列島南西部では、梅雨末期には頻繁に豪雨が発生し、しばしば災害をもたらしてきた。今日まで、数多くの研究がこのような豪雨の発生のメカニズムを解明するために注がれてきた。本論文では1988年7月に行われた梅雨末期集中豪雨の特別観測のデータをもとに、これまであまり注目されてこなかった豪雨のメソスケールとマイクロスケールの特徴をドップラーレーダーや時間・空間的に密なラジオゾンデのデータ(～100km、3～6時間)を用いて運動学的に明らかにしたものである。

本論文は六章から構成されており、第一章の序論では、過去の梅雨期の大雨に関する研究の歴史的な流れをレビューし、豪雨の発生に対するメソスケールとマイクロスケールの運動学的な研究の必要性を述べている。

第二章では、特別観測のために展開されたドップラーレーダーおよびラジオゾンデ観測のデータ収集方法と解析方法について述べ、特に申請者によって新たに開発された一台のドップラーレーダーを用いた水平風の解析方法であるTVAD (Tangential Velocity Assumed Display) 法について述べている。

第三章では1988年九州地方で行った特別観測の概要と解析事例の概況を述べ、

これまで指摘されてきた梅雨末期豪雨時の状況との類似性を示した。

第四章では、主に、特別観測の3つのケーススタディ(Case 1~3)を示した。そのうちCase 1とCase 2はクラウドクラスターに伴う降水イベントであり、Case 3はクラウドクラスターを伴わないものであった。降水はメソスケール現象として現れ、降水量はCase 1、Case 2ともに局所的に100 mmを超した例で(諫早で3時間にそれぞれ165 mm、104mm)、Case 3では最も多い佐世保で3時間に27mmの並の降雨であった。ドップラーレーダーの観測からそれぞれのケースの特徴として、Case 1では大雨をもたらすエコーの組織化の原因として、発達したエコーから発生したガストフロントによる梅雨前線帯の収束の強化、及び梅雨前線上に発達したレインバンドと南西海上で発生して東進してきた孤立したエコーとの合流によってエコーが発達したものであることを指摘した。Case 2では、Case 1で大雨がもたらされた領域とほぼ同じ所に、弧状に組織化したエコーによって大雨がもたらされたが、エコーが弧状に組織化されるプロセスにはやはりガストフロントが重要な役割を果たしていたことが示された。さらに、エコーの組織化の直前に暖かく湿った南西風の移流があり、これもエコーの発達に大きく貢献していたことが明らかになった。細いレインバンドとして現れたCase 3では、クラウドクラスターを伴わないこのエコー内の循環系は、梅雨前線帯の風系を反映した構造を持っていたことを示した。

これらのケーススタディから豪雨の発生におけるメソスケールとマイクロスケールの特徴として、①ガストフロントによる梅雨前線帯の収束の強化、②エコー同士の合流によるエコーの発達、③メソスケールの場での気温、降水量のコントラストが挙げられた。さらに④として、エコーが進む方向の地形、山岳の効果も挙げられた。

第五章では、梅雨期の九州に似た環境を持つ、梅雨期の滋賀県信楽町、熱帯のパプアニューギニア、マヌス島、及び夏季の北海道札幌市周辺でのドップラーレーダー観測の事例解析を行い、第四章で挙げたメソスケールとマイクロスケールの現象との比較を行った。ここでは、梅雨末期のエコーとは異なるタイプのエコーが観測されており、ガストフロントの発生のメカニズムやエコーの発達のプロセスの違いについて論じている。

第六章では、全体のまとめを行い、上記の四つの特徴が梅雨末期の豪雨現象に特有のものであることを示し、そのことが梅雨末期の集中豪雨現象の発生機構に重要な役

割を果たしていると結論付けた。

このように、申請者はドップラーレーダーによる降水現象の観測を積極的に行い、また、解析手法を開発するなど、今日まで総合的な観測、解析があまり行われていなかった梅雨末期の集中豪雨の発生機構を理解する上で、メソスケールとマイクロスケールの相互作用を明らかにした点は高く評価される。今日までに公表した論文は欧文六篇を含む八篇あり、また国際学会での口頭発表を行うなど、この分野では高い評価を受けている。

以上により審査員一同は、申請者が博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める次第である。